

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Papel dos traços florais na atração de abelhas da restinga

Emanuela Simoura Carvalho

Vitória, ES

Fevereiro, 2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

**Papel dos traços florais na atração de abelhas da
restinga**

Emanuela Simoura Carvalho

Orientadora: Taissa Rodrigues Marques da Silva

Coorientadora: Tânia Mara Guerra

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Biologia Animal) da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Biologia Animal.

Vitória, ES

Fevereiro, 2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e pela força pra continuar.

À Universidade Federal do Espírito Santo pela oportunidade de me formar Bióloga, Professora, e Mestre em Biologia Animal, e ao governo que, pela primeira vez na história do Brasil, abriu as portas da universidade para a periferia, de onde venho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Biologia Animal) e a todos seus docentes por me formarem Mestre na área mais linda da Biologia (quicá da Ciência).

À CAPES pela bolsa concedida durante todo o curso.

À minha orientadora, Profa. Taissa, por sempre estar disposta a me aconselhar quanto aos melhores trajetos no percurso do Mestrado. Agradeço muito pela atenção, dedicação e orientação!

À minha coorientadora, Profa. Tânia, por tanto zelo com minha formação. As conversas longas não foram em vão, tudo que aprendi levarei comigo na bagagem! Agradeço pelo esforço imenso na execução deste, e de todos os outros projetos, que fizemos nesses 5 anos de trabalho conjunto.

À banca examinadora, que aceitou colaborar com minha dissertação e com minha formação.

Ao Prof. Dr. Carlos Augusto Cardoso Passos, do Departamento de Física da UFES, pela gentileza com a qual nos auxiliou pensando, desenvolvendo e testando por muitas vezes o medidor de temperatura e umidade floral. Além disso, pelas conversas longas e divertidas sobre a biofísica da interação abelhas-plantas.

Ao Prof. Dr. Vinicius Lourenço Garcia de Brito, da Universidade Federal de Uberlândia, que, sempre muito pacientemente, me tirou muitas dúvidas teóricas e práticas sobre a relação das abelhas com a cor, me orientou sobre a oportunidade de cursos específicos, e se dispôs a medir comigo a reflectância das flores de *Chamaecrista rotundifolia*.

À Dra. Francismeire, da Universidade Federal de Uberlândia, que ministrou o Visual Ecology Course, com o Prof. Dr. Miguel Rodríguez-Gironés, e o curso Ecologia e Evolução de Sistemas de Interação a Partir da Visão em Cores, com o Prof. Dr. Vinicius Lourenço Garcia de Brito. Ambos os cursos foram essenciais e extremamente úteis para minha formação.

Ao Prof. Dr. Rodrigo Barbosa Gonçalves, da Universidade Federal do Paraná, pelo auxílio com a identificação das abelhas, e pelo trabalho lindo que faz na área de Taxonomia de Apiformes.

A todos os integrantes do Laboratório de Interações Biológicas que se tornaram meus grandes amigos. Agradeço por tudo nesses anos: alegrias, tristezas, cafés, choros, aflições e monitorias. Não sei ao certo como tanta gente diferente acabou se gostando tanto, mas agradeço imensamente por isso! Agradeço especialmente aos meus companheiros de campo Matheus, Priscila, Livia, Gabrielly e Camila.

Ao Diego Tavares Iglesias e ao Weverson Cavalcante Cardoso, pelo auxílio e companhia nos campos pré-exploratórios no PEPCV. Além disso, ao Weverson pela parceria muito agradável na realização do trabalho sobre sua estimada *Rhipsalis hoelleri*.

Ao Prof. Dr. Marcelo Teixeira Tavares pelo empréstimo de materiais de campo, e à Janaína que buscava esses materiais pra mim com toda a boa vontade no contêiner.

À Profa. Dr.^a Maria do Carmo pelo auxílio na metodologia de reflectância. Sem dúvidas, sua paciência é fonte de inspiração para todos nós.

Ao Ricieri Campo Dall'Orto, Técnico da Coleção Entomológica do Departamento de Ciências Biológicas da UFES, por ser sempre tão agradável, mesmo quando eu ia na Coleção várias vezes no mesmo dia.

Aos meus pais, Maura e Marconi, que sempre me apoiaram tanto! Não sei o que seria de mim nessa vida sem vocês. Cada abraço, conversa, beijo, e puxão de orelha fizeram com que eu fosse quem sou hoje.

À minha irmã, minha alma gêmea, que me apoia diariamente das formas mais variadas possíveis, de bolos de chocolate até conversas na madrugada.

Às minhas avós, por toda a doçura e firmeza em quantidades equivalentes que, ao dosá-las, me permitiram aprender a ter.

Ao Matheus, meu noivo, que tem uma paciência sobre-humana, o melhor abraço, e as palavras de calma que me ajudaram a chegar até aqui. Obrigada pela diversão nos momentos livres, e pela compreensão nos momentos não-tão-livres-assim.

À turma 2012/1, meus caros amigos da graduação, por não deixarem nossa amizade perecer. Agradeço pela paciência e pelo companheirismo dos meus amigos Margarida, Igor, Julia e Livia.

À Rafane, Livia e Paulo, amigos que ganhei na vida, e quero ter até o fim dela.

À turma PPBGAN 2017, em especial à Aniger, que me ajudou a caminhar na mata durante a Zoologia de Campo com o pé torcido, e ao Vinicius, que me abrigou em São Mateus durante a disciplina de Ilustração Científica Digital.

A todas e todos, muito obrigada!

“A democracia está perdendo os seus adeptos. No nosso país, tudo está enfraquecendo. O dinheiro é fraco. A democracia é fraca e os políticos, fraquíssimos. E tudo o que está fraco, morre um dia.”

Carolina Maria de Jesus

SUMÁRIO

Lista de tabelas	1
Lista de figuras	2
Resumo	3
Abstract	3
Introdução geral	4
Referências.....	7
Capítulo 1 – Onde está o Wally?: sinais florais para encontrar <i>Chamaecrista rotundifolia</i> (Pers.) Greene (Fabaceae)	9
Abstract.....	10
Introdução.....	11
Materiais e Métodos.....	11
Resultados	14
Discussão	18
Agradecimentos	20
Referências.....	21
Capítulo 2 – Now you see me: sinais florais percebidos pelas abelhas em <i>Chamaecrista rotundifolia</i> (Pers.) Greene (Fabaceae)	23
Resumo	24
Abstract.....	24
Introdução.....	25
Material e métodos.....	26
<i>As abelhas e Chamaecrista rotundifolia</i>	27
Resultados	28
<i>As abelhas e Chamaecrista rotundifolia</i>	28
Discussão	31
Agradecimentos	34
Referências.....	34

Lista de tabelas

Capítulo 1

Tabela 1. Valores máximo e mínimo, média e desvio-padrão para temperatura intrafloral, umidade intrafloral, tamanho da corola, ângulo da corola, número de flores, de *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene (Fabaceae) (n = número de medições de cada variável). Parque Estadual Paulo César Vinha, Outubro/2017-Maio/2018. 15

Tabela 2. Valores médios mensais para o município mais próximo do local de estudo, precipitação pluviométrica, para Guarapari, ES e, umidade e temperatura, para Vila Velha, ES. Parque Estadual Paulo César Vinha, Outubro/2017-Maio/2018. 17

Capítulo 2

Tabela A – Abelhas visitantes de *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene (Fabaceae) por hora do dia no Parque Estadual Paulo Cesar Vinha do período de outubro de 2017 a maio de 2018, e suas respectivas frequências relativas de visitação (FR). 29

Lista de figuras

Capítulo 1

Figura 1. Esquema da flor de *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene (Fabaceae), em vista lateral, com os vetores gerados pelo transferidor no aplicativo *Free Protactor* (*PongoSoft*). As linhas cinzas representam os vetores a partir dos quais se determina o ângulo da corola. O androceu e o gineceu da flor foram omitidos. Parque Estadual Paulo César Vinha, Outubro/2017-Maio/2018.13

Figura 2. Número de flores de *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene (Fabaceae) por dia de coleta. Parque Estadual Paulo César Vinha, Outubro/2017-Maio/2018. 15

Figura 3 – Médias das medidas das flores de *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene (Fabaceae) por hora do dia. A. Tamanho da corola. B. Ângulo da corola. Parque Estadual Paulo César Vinha, Outubro/2017-Maio/2018. 16

Figura 4. Valor médio da temperatura intrafloral de *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene (Fabaceae) e da temperatura do ambiente ao longo das horas. Temperaturas intraflorais são ilustradas por círculos e temperaturas do ambiente, por quadrados, aferidas. Parque Estadual Paulo César Vinha, Outubro/2017-Maio/2018. 17

Figura 5. Espectro de refletância das anteras, base das pétalas, ápice das pétalas e folhas de *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene (Fabaceae). As áreas acinzentadas nos gráficos indicam as medidas de variância. Parque Estadual Paulo César Vinha, Outubro/2017-Maio/2018. 18

Capítulo 2

Figura 1 – Total de frequência de visitas realizadas pelas espécies de abelhas às flores de *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene (Fabaceae) por hora do dia. Parque Estadual Paulo César Vinha, Outubro/2017-Maio/2018. 29

Figura 2 – Primeiro Componente (PC1) e Segundo Componente (PC2) e os vetores das variáveis tamanho da corola (TC), ângulo da corola (AC), número de flores (NF), temperatura intrafloral (TI), umidade intrafloral (UI) e frequência de visita das abelhas (FA) em flores de *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene (Fabaceae), resultantes da Análise de Componentes Principais (PCA). Parque Estadual Paulo César Vinha, Outubro/2017-Maio/2018. 30

Figura 3 – *Loci* das cores da antera (∇), da base (+) e o ápice (●) da pétala de *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene (Fabaceae) no hexágono de cor das abelhas. 31

Resumo

A maneira como os visitantes florais percebem as flores está relacionada principalmente com os sinais utilizados pelas flores para atraí-los. No presente trabalho, investigamos a hipótese de que os traços florais de *Chamaecrista rotundifolia* (Fabaceae) influenciam na atração das abelhas da restinga. Foram coletados dados sobre o tamanho e o ângulo das flores, a umidade e temperatura intraflorais e o número de flores por dia de *C. rotundifolia*, assim como dados sobre a frequência de visitas de abelhas à essa espécie vegetal. Durante oito meses, *C. rotundifolia* foi visitada por oito espécies de abelhas, em 118 visitas, e os resultados do presente trabalho indicam que duas características dessa espécie vegetal estão especialmente relacionadas à atração de abelhas, a temperatura intrafloral superior à temperatura do ambiente, e o padrão de refletância de suas flores. Essas características são essenciais para o sucesso reprodutivo de *C. rotundifolia*, uma vez que auxiliam as abelhas na procura por essa espécie que necessita de vetores para se reproduzir.

Palavras-chave: Apoidea; Temperatura intrafloral; Umidade intrafloral; Cor; Tamanho floral; Ângulo floral.

Abstract

The way how flower visitors perceive the flowers is mainly related to the signs used by the flowers to attract them. In the present work, we investigate the hypothesis that the flower traits of *Chamaecrista rotundifolia* (Fabaceae) influence the attraction of the bees of the restinga. Data on the size and angle of flowers, intrafloral humidity and temperature and number of *C. rotundifolia* flowers were collected, as well as data on the frequency of visits of bees to this plant species. *C. rotundifolia* was visited by eight species of bees in 118 visits, and the results of the present study indicate that two characteristics of this plant species are especially related to the attraction of bees, the intrafloral temperature higher than the ambient temperature, and the reflectance pattern of their flowers. These characteristics are essential for the reproductive success of *C. rotundifolia*, since they help bees in the search for this species that needs vectors to reproduce.

Keywords: Apoidea; Intrafloral temperature; Intrafloral humidity; Color; Floral Size; Floral angle.

Introdução geral

As plantas mantêm os ecossistemas, e a vida e diversidade que neles habita (Schoonhoven et al. 2005), como consequência, têm-se também o equilíbrio para a existência humana, que depende direta e indiretamente dos seres vivos e das relações entre eles (MEA 2005).

Ilustrando a importância das plantas, temos a relação abelha-planta que consiste em uma relação mutualística (Schoonhoven et al. 2005). Nela, as abelhas obtêm diversos recursos nas plantas, entre eles, resina, cerume, óleos, e perfumes florais, e os principais utilizados na alimentação dos adultos e das larvas, pólen e néctar (Nogueira-Neto 1997; Schoonhoven et al. 2005). Em troca, durante as visitas alimentares, as abelhas favorecem a ocorrência da polinização cruzada nas plantas, que é vantajosa uma vez que aumenta a variabilidade genética das populações (Schoonhoven et al. 2005, Willmer 2011).

Sendo assim, a relação abelha-planta é essencial para a manutenção da vida no planeta, uma vez que é através dela que a maioria das plantas se reproduzem, formam frutos que são utilizados em várias esferas da vida humana, como alimentação e vestuário, e cujas sementes dão origem a novas plantas (Michener 2007).

A despeito de sua importância para a vida terrestre, nos últimos 50 anos, as populações de abelhas vêm sendo drasticamente reduzidas em todo o mundo, e entre as causas possíveis desse declínio estão, a perda de habitat, os parasitas e as doenças, o uso extensivo de pesticida, a competição com as espécies exóticas, e as mudanças climáticas (Goulson et al. 2015).

Legalmente, as abelhas nativas são protegidas em todo o território nacional pela Lei nº 5.197, de 3 de janeiro de 1967, que dispõe sobre a proteção à fauna brasileira (Brasil 1967), pela Lei Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 que, de seus artigos 29 a 37, dispõe sobre as sanções penais e administrativas decorrentes de crimes contra a

Fauna (Brasil 1998), e pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 346, de 16 de agosto de 2004, que regulamenta a utilização das abelhas silvestres nativas, bem como a implantação de meliponários (Brasil 2004). Além destas, a Instrução Normativa do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis nº 02, de 9 de fevereiro de 2017, estabelece diretrizes, requisitos e procedimentos para a avaliação dos riscos de ingredientes ativos de agrotóxicos para insetos polinizadores (Brasil 2017) e, por fim, alguns Estados dispõem de suas próprias leis que regulamentam a criação, o manejo, o comércio, e o transporte das abelhas, assim como dos materiais produzido por elas, como as Leis Estaduais nº 15.181, de 9 de maio de 2018 (Rio Grande do Sul 2018) e nº 19.152, de 2 de Outubro de 2017 (Paraná 2017). Para o município de Vitória, embora ainda não votado, existe um projeto de lei, o PL 102/2018, que proíbe o uso do neonicotinoide, um dos pesticidas mais usados no mundo e o mais nocivo às abelhas (Vitória 2018).

No mundo, estima-se que 78% das plantas nas comunidades de zonas temperadas e 94%, nas comunidades tropicais, sejam polinizadas por abelhas (Ollerton et al. 2011). No Brasil, existem cerca de 1.800 espécies de abelhas (Imperatriz-Fonseca et al. 2012), que por serem responsáveis pela polinização de diversas espécies vegetais são, essenciais aos ecossistemas brasileiros, dentre os quais se inclui a restinga.

As restingas são ecossistemas de transição entre dunas costeiras e florestas naturais bem estabelecidas (Da Silva et al. 2012), e correspondem a aproximadamente 80% da costa do Brasil (Lacerda et al. 1993). A vegetação deste ecossistema provê estabilidade aos manguezais e fixação às dunas, além disso, sua degradação causa redução da biodiversidade e alteração da paisagem (Amador 1988).

Alguns fatores externos à pesquisa afetaram o trabalho de campo e, por esta razão, não podem ser ignorados. Segundo Chagas et al. (2014), as manchas de

Chamaecrista rotundifolia estão presentes na borda de praticamente todas as formações da restinga do parque. Esse fato foi corroborado unicamente para a borda da Trilha da Restinga, nas idas a campo exploratórias (realizadas antes das amostragens). As observações durante as idas puderam evidenciar também a retirada das manchas localizadas às margens da Trilha da Restinga, principalmente na área mais próxima à sede do parque. A retirada das manchas de *C. rotundifolia* nesses locais foi verificada também ao longo do estudo, o que sugere que no parque é realizada a capinação e a poda periódica das plantas da trilha. Esse fato nos preocupa, uma vez que devido à restrição da ocorrência dessa espécie, sua retirada reduz substancialmente a quantidade de flores disponíveis para as abelhas. Somado a isso, pode-se verificar que os veículos autorizados a transitar pela Trilha da Restinga, quando se dirigem à praia, passam por cima da vegetação herbácea e arbustiva mais rasteira, o que danifica a folhagem e as flores.

Considerando que, *C. rotundifolia* é uma espécie-chave para o PEPCV, mas tem uma área restrita de ocorrência, sugerimos duas alternativas para o manejo da população, a primeira, que as podas das manchas sejam realizadas alternando o corte do lado esquerdo e direito de modo a manter, pelo menos, uma mancha de cada lado, a cada 2 metros, uma vez que as manchas de *C. rotundifolia* são maiores no lado direito da trilha (sob a perspectiva de quem vai da sede para a praia), e a segunda, que as podas sejam realizadas apenas no lado esquerdo da trilha para que a redução da área florida nas manchas não ocorra de forma simultânea em todas elas.

Essa dissertação conta com dois capítulos, o Capítulo 1, descreve os traços florais de *C. rotundifolia* e investiga se esses traços respondem aos fatores ambientais temperatura, umidade e pluviosidade e, o Capítulo 2, analisa se as respostas dos traços florais influenciam a frequência de visita das abelhas às flores de *C. rotundifolia*.

Referências

- Amador ES. 1988. Aspectos ambientais associados à extração de areias no litoral do Rio de Janeiro - praias e restingas [Environmental aspects associated with the extraction of sand on the coast of Rio de Janeiro - beaches and restingas]. *Anu. Inst. Geociênc.* 11:59-72.
- Brasil. Lei nº 5.197, de 3 de janeiro de 1967. Dispõe sobre a proteção à fauna e dá outras providências. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L5197compilado.htm>. Acesso em 06/11/2018.
- Brasil. Lei Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9605.htm>. Acesso em 15/01/2019.
- Brasil. Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 346, de 16 de agosto de 2004. Disciplina a utilização das abelhas silvestres nativas, bem como a implantação de meliponários. Órgão emissor: CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=448>>. Acesso em: 06/11/2018.
- Brasil. Instrução Normativa nº 02 de 9 de fevereiro de 2017. Estabelece diretrizes, requisitos e procedimentos para a avaliação dos riscos de ingredientes ativos de agrotóxicos para insetos polinizadores. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 10 fev. 2017. Seção 1, p. 33.
- Da Silva DKA, Pereira CMR, De Souza RG, Da Silva GA, Oehl F, Maia LC. 2012. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in restinga and dunes areas in Brazilian Northeast. *Biodiversity Conserv.* 21(9):2361-2373.
- Goulson D, Nicholls E, Botías C, Rotheray EL. 2015. Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science.* 347(6229):1255-1257.
- Imperatriz-Fonseca VL, Canhos DAL, Alves DA, Saraiva AM. 2012. Polinizadores no Brasil: contribuição para a biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais [Brazilian pollinators: contribution to biodiversity,

- sustainable use, conservation and environmental services]. São Paulo (SP): Edusp.
- Lacerda LD, Araujo DSD, Maciel NC. Dry coastal ecosystems of the tropical Brazilian coast. In: van der Maarel E, editores. *Ecosystems of the World 2B: dry coastal ecosystems Africa, America, Asia and Oceania*. Amsterdam: Elsevier, p. 477-493.
- Michener CD. 2007. *The bees of the world*. 2nd ed. Baltimore (MD): The Johns Hopkins University Press.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and human well-being: current state and trends*. Washington: Island Press.
- Nogueira-Neto. 1997. *Vida e Criação de Abelhas indígenas sem ferrão [Life and breeding of stingless indigenous bees]*. São Paulo (SP): Editora Nogueirapis.
- Ollerton J, Winfree R, Tarrant S. 2011. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*. 120(3):321-326.
- Paraná. Lei Estadual nº 19152, de 2 de Outubro de 2017. Dispõe sobre a criação, o manejo, o comércio e o transporte de abelhas sociais nativas (meliponíneos). Diário Oficial [do] Estado de Paraná, Curitiba, PR, 3 Out. 2017.
- Rio Grande do Sul. Lei Estadual nº 15.181, de 9 de Maio de 2018. Dispõe sobre a Política Estadual para o Desenvolvimento e Expansão da Apicultura e Meliponicultura e institui o Programa Estadual de Incentivo à Apicultura e Meliponicultura – PROAMEL –, no âmbito do Estado do Rio Grande do Sul, e dá outras providências. Diário Oficial [do] Estado de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 10 Mai. 2018.
- Schoonhoven LM, van Loon JJA, Dicke M. 2005. *Insect-plant biology*. New York (NY): Oxford University Press.
- Vitória. Câmara Municipal. Projeto de Lei 102/2018. Dispõe sobre a proibição do uso de agrotóxicos a base de neonicotinoide, no Município de Vitória. Disponível em:
<http://camarasempapel.cmv.es.gov.br/Sistema/Protocolo/Processo2/Digital.aspx?id=180464&arquivo=Arquivo/Documents/PL/PL1022018.pdf#P180464>. Acesso em 24 jan. 2019.
- Willmer P. 2011. *Pollination and floral ecology*. Princeton (NJ): Princeton University Press.

**Capítulo 1 – Onde está o Wally?: sinais florais para encontrar
Chamaecrista rotundifolia (Pers.) Greene (Fabaceae)**

Emanuela Simoura Carvalho*, Taissa Rodrigues, Tânia Mara Guerra

*Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória,
Brasil*

*E-mail para correspondência: emanuelasimourac@gmail.com.

Capítulo editado para o periódico Plant Ecology & Diversity

Onde está o Wally?: sinais florais para encontrar *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene (Fabaceae)

Abstract

The floral traits are morphological, physiological or phenologic characteristics who have significant influence on the establishment, survivor and fitness of a specie in its environment. Some of these traits can signalize about the availability of flowers' resources and therefore influencing visitor behavior. This work aims to characterize the floral traits of *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene (Fabaceae) and to relate them to environmental factors to understand the ecological meaning of the floral tracers. To that, we measured intrafloral temperature and humidity in the field with a machine designed and built in laboratory, and characterized the number of flowers, size and angle from corolla, the flowers reflectance from *C. rotundifolia* as well as the intrafloral temperature and humidity. Our analysis showed that *C. rotundifolia* flowers are, in average, 7.82 °C warmer than the environmental temperature, in addition, this plant species reflects ultraviolet light (UV). These results indicate that temperature and the reflectance pattern of *C. rotundifolia* flowers are the clue who will help in searching of its floral visitants.

Keywords: Floral traits; Intrafloral temperature; Intrafloral humidity; Color; Floral size; Floral angle; Fabaceae.

Introdução

A maioria das plantas necessita de vetores para que ocorra a polinização e, mesmo nas espécies que conseguem realizar a autopolinização, a polinização cruzada confere maior variabilidade genética às gerações (Willmer 2011). Para atrair os visitantes florais, as plantas usam certas características, morfológicas, fisiológicas ou fenológicas, as quais são mensuráveis ao nível de indivíduo (Violle et al. 2007). Quando essas características têm influência significativa no estabelecimento, sobrevivência e aptidão de uma espécie em seu ambiente natural elas são chamadas de traços florais (Reich et al. 2003). Os traços florais são essenciais, visto a sua importância na capacidade de aprendizado e memória dos visitantes florais (Leonard et al. 2011), que resulta na identificação mais acurada das flores, promovendo uma eficiência maior no forrageio (Brito et al. 2014).

Para interpretar o significado ecológico e comportamental dos traços florais, são essenciais as informações sobre as condições ambientais do local de estudo (Violle et al. 2007), uma vez que os fatores ambientais podem afetar múltiplos traços florais simultaneamente (Frazee & Marquis 1994).

O objetivo desse trabalho foi caracterizar os traços florais de *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene (Fabaceae), sendo eles número de flores, temperatura e umidade intraflorais, tamanho e ângulo da corola, e refletância das flores, e relacioná-los aos fatores ambientais precipitação pluviométrica, umidade e temperatura, com a finalidade de subsidiar o conhecimento sobre a função atrativa dos traços florais e investigar se esses traços florais se alteram em função da variação dos fatores ambientais locais.

Materiais e Métodos

Chamaecrista rotundifolia possui flores amarelas, pentâmeras, hermafroditas, poliníferas e solitárias, e sua floração se estende de outubro a maio na área de estudo, a

restinga do Parque Estadual Paulo César Vinha (PEPCV), no município de Guarapari - ES (Covre & Guerra 2016). A individualização dos espécimes de *C. rotundifolia* foi impossibilitada devido ao hábito gregário da espécie, por isso, os mesmos foram tratados como manchas (Covre & Guerra 2016). Os traços florais foram analisados em cinco manchas de *C. rotundifolia* (manchas 1 e 4 S20° 36' 15.4" W040°25'28.3", mancha 2 S20°36'15.5" W040°25'28.2", mancha 3 S20°36'15.5" W040°25'28.0", e mancha 5 S20°36'15.3" W040°25'28.8").

Os dados foram coletados das 6:00h às 13:00h, durante a floração da espécie, quinzenalmente, entre outubro/2017 e janeiro/2018, e semanalmente, de março/2018 a maio/2018 (esforço amostral = 108 horas). A cada hora amostrada, 30 minutos foram destinados à coleta de flores e à medição do tamanho e do ângulo da corola de *C. rotundifolia*, e os 30 minutos restantes de cada hora foram destinados às técnicas relativas ao próximo capítulo desta dissertação.

Dados climáticos mensais foram disponibilizados pelo Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), e dados climáticos para cada dia de coleta foram obtidos no sítio do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Para as coletas, a cada ida a campo, foi selecionada, marcada e georreferenciada a mancha que tivesse o maior número de flores, que era mensurado e registrado. Uma amostra de cada mancha estudada foi coletada para identificação, herborização e incorporação ao acervo do Herbário VIES da Universidade Federal do Espírito Santo (Manchas 1 – VIES 36593, mancha 2 – VIES 36594, mancha 3 – VIES 36595, mancha 4 – VIES 36596, e mancha 5 – VIES 36597).

Um aparelho para aferir e registrar a temperatura e umidade intraflorais foi desenvolvido pelo Professor Doutor Carlos Augusto Cardoso Passos, do Departamento

de Física, da Universidade Federal do Espírito Santo. As medições dessas variáveis foram feitas por meio de um sensor, a cada cinco minutos, nos dias 20/04/2018, 04/05/2018 e 18/05/2018 ($n = 216$). O presente trabalho traz uma inovação científica ao criar um aparelho para aferir a temperatura e umidade em campo, e a utilizá-lo para aferir a temperatura interna de flores.

As medições de tamanho e ângulo da corola foram feitas a cada hora e em flores que não apresentavam sinais de senescência, uma vez as flores de *C. rotundifolia* duram um dia (Costa et al. 2013) e, quando persistem até o segundo dia apresentam sinais de senescência como o escurecimento das estruturas florais e a queda das pétalas (Carvalho, observação pessoal). Para aferir o tamanho da corola utilizou-se o escalímetro e a metodologia de Vaughton & Ramsey (1998). Para obter o ângulo floral foi utilizado o aplicativo *Free Protactor* (*PongoSoft*) em um aparelho celular posicionado em vista lateral à flor (Figura 1).

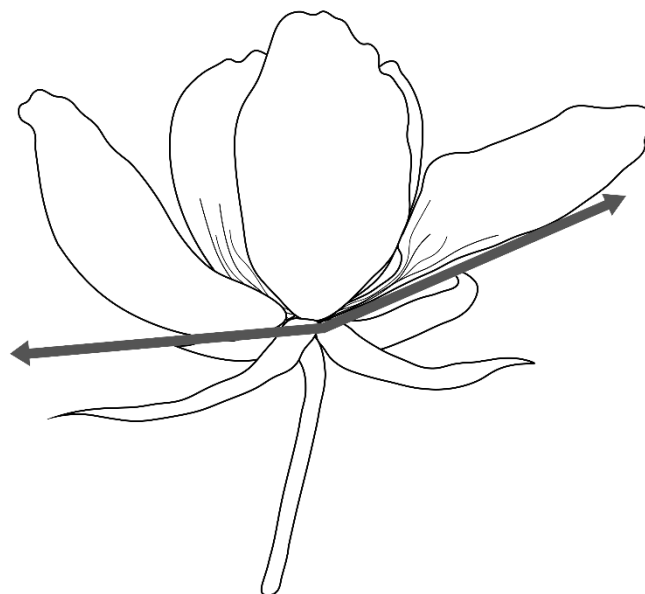


Figura 1. Esquema da flor de *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene (Fabaceae), em vista lateral, com os vetores gerados pelo transferidor no aplicativo *Free Protactor* (*PongoSoft*). As linhas cinzas representam os vetores a partir dos quais se determina o ângulo da corola. O androceu e o gineceu da flor foram omitidos. Parque Estadual Paulo César Vinha, Outubro/2017-Maio/2018.

A refletância das flores foi obtida por um espectrofotômetro USB4000 (*Ocean Optics, Inc.*), conforme metodologia descrita em Chittka & Kevan (2005), na qual são aferidos os comprimentos de onda refletidos pelas estruturas florais. Para o padrão branco, utilizou-se sulfato de bário (Lunau et al. 2011) e para o padrão preto retirou-se o cabo da entrada do espectrofotômetro e cobriu-se a entrada, para evitar a passagem de luz. Foram mensuradas a refletância do ápice e da base da pétala, das anteras e das folhas de um ramo de cada mancha amostral de *C. rotundifolia* ($n = 5$).

Todas as análises estatísticas foram feitas no software gratuito R (R Core Team 2017). A diferença entre as temperaturas do ambiente e intrafloral foi avaliada pelo teste de Mann-Whitney (U) ($p < 0.05$). O coeficiente de correlação de Spearman (ρ) foi aplicado para testar correlações entre os traços florais, e entre esses e os fatores ambientais ($p < 0.05$).

Resultados

O número de flores de *C. rotundifolia* variou entre 11-144 (Figura 2, Tabela 1) ao longo do período de estudo, exibindo uma variação grande ($dp = 41.01$) no número de flores abertas por dia. A quantidade de flores na mancha não sofreu influência da precipitação pluviométrica ($p = 0.54$), temperatura ($p = 0.64$) ou umidade do ambiente ($p = 0.5$). A população estudada esteve mais florida em dezembro ($n = 144$ e $n = 140$), permanecendo praticamente sem flores na semana final de janeiro ($n = 5$) e em fevereiro ($n = 4$ e $n = 7$) (Figura 2).

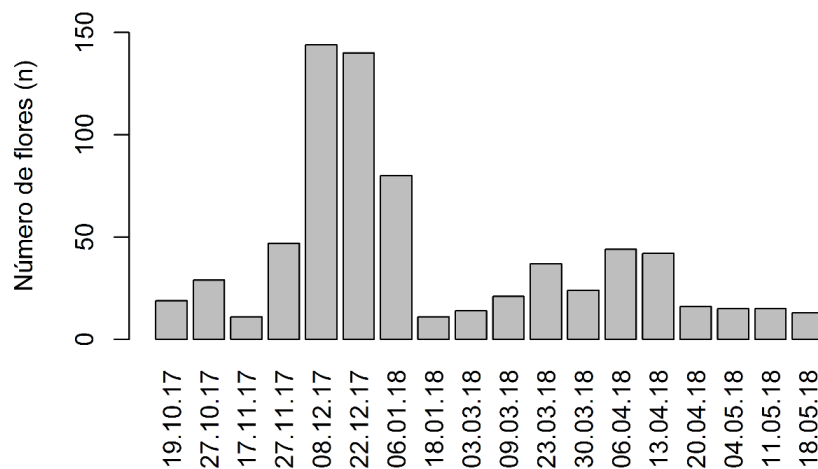


Figura 2. Número de flores de *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene (Fabaceae) por dia de coleta. Parque Estadual Paulo César Vinha, Outubro/2017-Maio/2018.

Tabela 1. Valores máximo e mínimo, média e desvio-padrão para temperatura intrafloral, umidade intrafloral, tamanho da corola, ângulo da corola, número de flores, de *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene (Fabaceae) (n = número de medições de cada variável). Parque Estadual Paulo César Vinha, Outubro/2017-Maio/2018.

	Máximo	Mínimo	Média	Desvio-padrão
Temperatura intrafloral (°C) (n = 18)	40.74	18.66	29.15	5.69
Umidade intrafloral (%) (n = 18)	100	65	90.22	11.32
Tamanho da corola (cm) (n = 108)	2.28	0.75	1.79	0.26
Ângulo da corola (°) (n = 42)	142.2	98.7	127.39	8.94
Número de flores (n) (n = 108)	144	11	40.11	41.01

O tamanho da corola diminuiu ao longo das horas ($p = -0.49$), variou de 1.95 cm (06:00h) a 1.56 cm (13:00h) (Figura 3A). As flores eram maiores quando o ambiente

estava mais frio ($\rho = -0.39$) e úmido ($\rho = 0.39$), e o tamanho da corola não sofreu influência da precipitação pluviométrica ($p = 0.33$). O ângulo da corola foi de 121.8° , às 06:00h e de 125.1° , às 13:00h, mas essa variação não foi significativa ($p > 0.05$) (Figura 3.B).

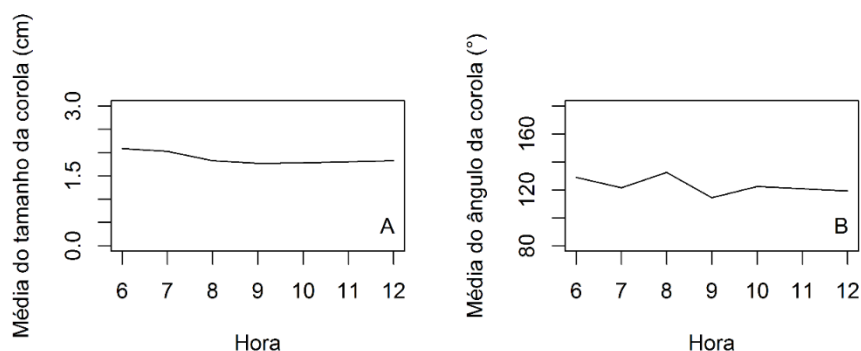


Figura 3 – Médias das medidas das flores de *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene (Fabaceae) por hora do dia. A. Tamanho da corola. B. Ângulo da corola. Parque Estadual Paulo César Vinha, Outubro/2017-Maio/2018.

Quando as manchas de *C. rotundifolia* tinham poucas flores, as corolas eram maiores e, quando as manchas tinham um número maior de flores, elas eram menores ($r = -0.52$), caracterizando uma compensação entre o tamanho e o número de flores.

A temperatura intrafloral aumentou ao longo das horas dia, de 23.7°C a 37.6°C , enquanto a umidade intrafloral diminuiu nesse mesmo período, de 100% a 70%. A temperatura média do ambiente foi 24.5 ± 1.4 , a precipitação pluviométrica média 142.2 ± 57.2 , e a umidade 81.8 ± 2.8 . O mês mais chuvoso foi abril, e o menos chuvoso foi janeiro (Tabela 2). A média da temperatura intrafloral foi 7.82°C , superior à média da temperatura do ambiente ($p < 0.05$) (Figura 4).

Tabela 2. Valores médios mensais para o município mais próximo do local de estudo, precipitação pluviométrica, para Guarapari, ES e, umidade e temperatura, para Vila Velha, ES. Parque Estadual Paulo César Vinha, Outubro/2017-Maio/2018.

	Out/17	Nov/17	Dez/17	Jan/18	Fev/18	Mar/18	Abr/18	Mai/18
Precipitação pluviométrica (mm)	87.3	163.4	184.2	61.2	102.9	127.9	231.9	178.7
Umidade (%)	78.8	81.2	82.3	77.1	82.4	82.9	84.9	85.2
Temperatura (°C)	24	23.5	25	26.3	25.4	25.8	23.8	22.1

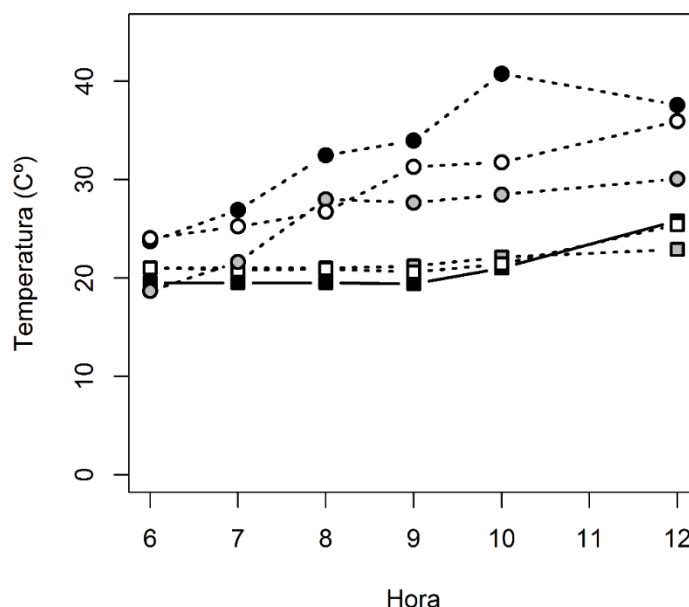


Figura 4. Valor médio da temperatura intrafloral de *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene (Fabaceae) e da temperatura do ambiente ao longo das horas. Temperaturas intraflorais são ilustradas por círculos e temperaturas do ambiente, por quadrados, aferidas. Parque Estadual Paulo César Vinha, Outubro/2017-Maio/2018.

As medidas de refletância mostraram que as anteras de *C. rotundifolia* refletiram luz nos comprimentos de onda do verde e vermelho (Figura 5), a base e o ápice das

pétalas refletiram nos comprimentos de onda ultravioleta (UV), verde e vermelho, e as folhas refletiram no comprimento de onda verde (Figura 5).

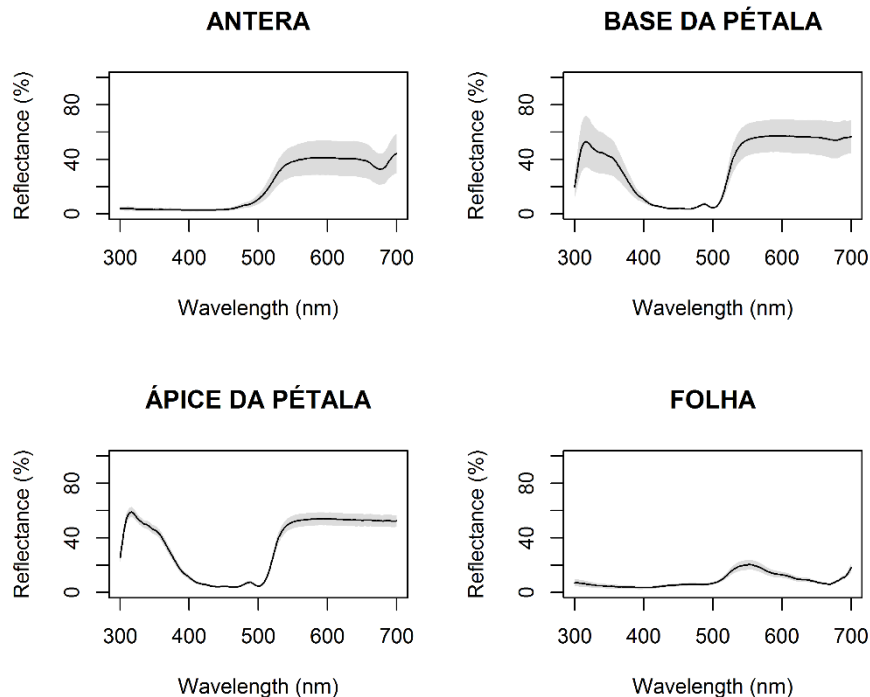


Figura 5. Espectro de refletância das anteras, base das pétalas, ápice das pétalas e folhas de *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene (Fabaceae). As áreas acinzentadas nos gráficos indicam as medidas de variância. Parque Estadual Paulo César Vinha, Outubro/2017-Maio/2018.

Discussão

O período de floração de *Chamaecrista rotundifolia* é longo, com duração de oito meses, o que corrobora o trabalho de Covre & Guerra (2016), para a mesma área. E, períodos de floração longos constituem uma vantagem adaptativa para a reprodução plantas na restinga, uma vez que os ventos fortes e a elevada intensidade luminosa vistos nesses ambientes limitam a atividade dos visitantes (Viana et al. 2006).

A variação circadiana no tamanho da corola apresentada por *C. rotundifolia*, em que a flor é maior após a antese e menor próximo à senescência, corrobora a proposta de

Schemske & Bradshaw (1999) e Handelman & Kohn (2014), de que o tamanho maior das flores sinaliza aos polinizadores sobre a disponibilidade dos recursos florais, o que influencia o seu comportamento.

Em *C. rotundifolia*, foi observado que quando as manchas tinham poucas flores, as corolas eram maiores e, quando as manchas tinham um número maior de flores, as corolas eram menores, o que caracteriza uma compensação, ou *trade-off*, entre o número de flores e o tamanho da corola, no qual a planta aloca recursos simultaneamente de maneira desproporcional no tamanho e na quantidade de flores. Uma vez que os recursos da planta devem ser investidos em seu crescimento, desenvolvimento, e reprodução, é necessário que a sua alocação seja realizada de maneira eficiente (Bazzaz et al. 2000) para garantir o sucesso reprodutivo da planta. No processo de reprodução da planta, tanto o tamanho das flores quanto o seu número são fatores importantes para atrair os polinizadores (Glaettli & Barrett 2008), entretanto, a estratégia de apresentar um número menor de flores, observada em *C. rotundifolia*, se justifica uma vez que, quando florações são apresentadas simultaneamente, aquelas que possuem flores mais finamente segmentadas e mais profundas tendem a atrair mais polinizadores altamente especializados, essa preferência pode ser causada porque elas apresentam um contraste mais vigoroso com o plano de fundo (Faegri & Van der Pijl 1979; Lunau et al. 1996).

A temperatura intrafloral de *C. rotundifolia* elevada (cerca de 7.82 °C acima da temperatura ambiente) indica que as flores dessa espécie são capazes de reter o calor da radiação solar em suas flores, que facilita seu reconhecimento pelas abelhas tal como as flores em regiões mais frias (Faegri & Van der Pijl 1979; Norgate et al. 2010). No entanto, em *C. rotundifolia*, essa retenção não assume a função de fonte de calor para as

abelhas, mas sim de localizador das flores para essas abelhas e, a de facilitadora da liberação do pólen durante a vibração, após a flor ser localizada.

As medidas de refletância de *C. rotundifolia* indicam que suas flores refletem os comprimentos de onda UV que excitam os fotorreceptores presentes, principalmente, nos olhos dos insetos (Brito et al. 2014). Esse resultado sugere que o padrão de refletância da flor seja importante para o seu reconhecimento pelos insetos visitantes florais.

Costa et al. (2013) estudaram espécies simpátricas de *Chamaecrista* e constataram a autocompatibilidade de *C. rotundifolia* como resultado de autofecundação manual. Segundo esses autores, há formação de frutos por autopolinização manual, polinização cruzada manual e por polinização aberta, mas não por autopolinização espontânea, dependendo de polinizadores para a fecundação. Essa planta tem anteras poricidas, que segundo Buchmann & Hurley (1978), liberam o pólen apenas quando vibradas por abelhas. Assim, se para que *C. rotundifolia* se reproduza é necessária a presença de abelhas para a retirada e a transferência de grãos de pólen, os traços florais aqui descritos são essenciais ao sucesso reprodutivo dessa espécie, uma vez que a temperatura intrafloral elevada facilita a percepção das flores por elas, além de otimizar a retirada de pólen, em forma de nuvem, das anteras poricidas.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. As autoras agradecem ao Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos e ao Parque Estadual Paulo Cesar Vinha por possibilitarem a coleta dos dados, e aos Profs. Drs. Vinicius Lourenço Garcia de Brito, da Universidade Federal de Uberlândia, e Carlos Augusto Cardoso Passos, da Universidade Federal do Espírito Santo, pelas medições de refletância da planta, e pelo desenvolvimento do medidor de temperatura e umidade intraflorais, respectivamente.

Referências

- Bazzaz FA, Ackerly DD, Reekie EG. Reproductive allocation in plants. 2000. In: Feener M, editor. Seeds: the ecology of regeneration in plant communities. Southampton (UK): CABI Publishing; p. 1-29.
- Brito V, Telles F, Lunau K. 2014. Ecologia cognitiva da polinização [Cognitive ecology of pollination]. In: Rech AR, Agostini K, Oliveira PE, Machado IC, organizadores. Biologia da Polinização [Pollination Biology]. Rio de Janeiro (RJ): Editora Projeto Cultural; p. 417–438.
- Buchmann SL, Hurley JP. 1978. A biophysical model for buzz pollination in Angiosperms. J. Theor Biol. 72:639-657.
- Chittka L, Kevan PG. 2005. Flower colour as advertisement. In: Dafni A, Kevan PG, Husband BC, editores. Practical Pollination Biology. Cambridge (UK): Enviroquest Ltd.; p. 157–196.
- Costa CBN, Costa JAS, Queiroz LP, Borba EL. 2013. Self-compatible sympatric *Chamaecrista* (Leguminosae-Caesalpinioideae) species present different interspecific isolation mechanisms depending on their phylogenetic proximity. Plant Syst Evol. 299(2):699–711.
- Covre C, Guerra TM. 2016. Espécies Melitófilas da restinga do Parque Estadual Paulo César Vinha, Espírito Santo [Melitophilous Species of the Restinga of the Parque Estadual Paulo César Vinha, Espírito Santo]. Bol Mus Biol Mello Leitão. 38(2):73–90.
- Faegri K, Van der Pijl L. 1979. The principles of pollination ecology. Oxford (UK): Pergamon.
- Frazee JE, Marquis RJ. 1994. Environmental contribution to floral trait variation in *Chamaecrista fasciculata* (Fabaceae: Caesalpinoideae). Am J Bot. 81(2):206-215.
- Glaettli M, Barrett SC. 2008. Pollinator responses to variation in floral display and flower size in dioecious *Sagittaria latifolia* (Alismataceae). New Phytol. 179(4):1193-1201.
- Handelman C, Kohn JR. 2014. Hummingbird color preference within a natural hybrid population of *Mimulus aurantiacus* (Phrymaceae). Plant Spec Biol. 29:65–72.
- Leonard AS, Dornhaus A, Papaj DR. 2011. Forget-me-not: complex floral displays, inter-signal interactions, and pollinator cognition. Curr Biol. 57:215–224.

- Lunau K, Wacht S, Chittka L. 1996. Colour choices of naive bumble bees and their implications for colour perception. *J Comp Physiol A*. 178(4):477-489.
- Lunau K, Papiorek S, Eltz T, Sazima M. 2011. Avoidance of achromatic colours by bees provides a private niche for hummingbirds. *J Exp Biol*. 214:1607–1612.
- Norgate M, Boyd-Gerny S, Simonov V, Rosa MG, Hear TA, Dyer AG. 2010. Ambient temperature influences Australian native stingless bee (*Trigona carbonaria*) preference for warm nectar. *PLoS One*. 5:e12000.
- R Core Team. 2017. R: A language and environment for statistical computing. Vienna (AU): R Foundation for Statistical Computing.
- Reich PB, Wright IJ, Cavender-Bares J, Craine JM, Oleksyn J, Westoby M, Walters MB. 2003. The evolution of plant functional variation: traits, spectra, and strategies. *Int J Plant Sci*. 164:143–164.
- Schemske DW, Bradshaw HD. 1999. Pollinator preference and the evolution of floral traits in monkeyflowers (*Mimulus*). *Proc Natl Acad Sci U S A*. 96:11910–11915.
- Vaughton G, Ramsey M. 1998. Floral display, pollinator visitation and reproductive success in the dioecious perennial herb *Wurmbea dioica* (Liliaceae). *Oecologia*. 115(1):93–101.
- Viana BF, Silva FOD, Kleinert ADM. 2006. A flora apícola de uma área restrita de dunas litorâneas, Abaeté, Salvador, Bahia [The bee flora of a restricted area of coastal dunes, Abaeté, Salvador, Bahia]. *Rev Bras Bot*. 29(1):13–25.
- Violle C, Navas ML, Vile D, Kazakou E, Fortunel C, Hummel I, Garnier E. 2007. Let the concept of trait be functional. *Oikos*. 116: 882–892.
- Willmer P. 2011. Pollination and floral ecology. Princeton (NJ): Princeton University Press.

**Capítulo 2 – Now you see me: sinais florais percebidos pelas abelhas
em *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene (Fabaceae)**

Emanuela Simoura Carvalho^{*}, Taissa Rodrigues, Tânia Mara Guerra

*Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória,
Brasil*

*E-mail para correspondência: emanuelasimourac@gmail.com.

Capítulo editado para o periódico Ecological Entomology

Now you see me: sinais florais percebidos pelas abelhas em *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene (Fabaceae)

Resumo

1. Os polinizadores interagem com as plantas devido a características florais, como cor, tamanho e formato, que sinalizarão ao visitante a quantidade e a qualidade dos recursos disponíveis na flor.
2. Sendo assim, o objetivo do presente trabalho foi testar a hipótese de que os traços florais de *Chamaecrista rotundifolia* (Fabaceae) (Pers.) Greene (Fabaceae) influenciam na atração das abelhas da restinga.
3. Foram utilizados os traços florais de *C. rotundifolia* (dados secundários), a frequência de visita e o comportamento das abelhas para Análise de Componentes Principais (PCA) a fim de buscar se havia resposta das abelhas visitantes quando os traços florais da espécie vegetal variavam.
4. As variáveis mais importantes para a PCA foram temperatura e umidade intraflorais e o tamanho da corola. As abelhas não são capazes de discriminar a cor do ápice da pétala da cor da base da pétala, mas são capazes de discriminar a cor da pétala da cor das anteras.
5. A temperatura intrafloral (dados secundários) e o padrão de refletância das flores de *C. rotundifolia* parecem ser os sinais que auxiliam os visitantes em sua identificação durante o voo e quando se aproximam das flores, respectivamente. A presença de abelhas vibrando as anteras de *C. rotundifolia* em todas as idas a campo realizadas no presente trabalho parece justificar o investimento da espécie vegetal nesse conjunto de traços florais.

Palavras-chave: Apoidea; Temperatura intrafloral; Umidade intrafloral; Cor; Tamanho floral; Ângulo floral.

Abstract

1. The pollinators interact with plants because flowers' characteristics, as color, size and shape, who signalize to the visitors the amount and quality from resources available on flower.
2. Therefore this work aim to test the hypothesis that floral tracers from *Chamaecrista rotundifolia* (Fabaceae) (Pers) Greene (Fabaceae) influence the attraction of bees of restinga.
3. It was utilized floral tracers from *C. rotundifolia* (secondary data), the frequency of visit and the bees' behavior to analyses the principal components (PCA) to investigate if there were answers from bees' visitors when the floral tracers varied.
4. The most important variables to the PCA were temperature and intrafloral humidity beyond the corolla size. The bees are not able to discriminate the petal apex color from the base color of the petal, but are able to discriminate petal color from the anther color.
5. The intrafloral temperature (secondary data) and the pattern of reflectance of flowers of *C. rotundifolia* seems to be the clue who help the visitors in its identification during the flight and when its become closer to the flowers, respectively. The presence of bees vibrating the anther of *C. rotundifolia* in all field made in this work appears to justify the investment of vegetable specie in this set of floral tracers.

Keywords: Apoidea; Intrafloral temperature; Intrafloral humidity; Color; Floral Size; Floral angle.

Introdução

No processo de polinização, a comunicação polinizador-planta pode ocorrer devido a traços funcionais florais, que podem ser vistos como sinais que irão atrair os visitantes, culminando no forrageio (Schaefer, Schaefer & Levey 2004). Desta forma, os polinizadores interagem com as plantas devido a características das flores, como cor, tamanho e formato, que irão sinalizar ao visitante a quantidade e a qualidade dos recursos disponíveis (Schemske & Bradshaw 1999; Handelman & Kohn 2014).

Assim, as flores podem ser consideradas unidades multissensoriais, munidas de diversas características que poderão auxiliar seu reconhecimento pelos visitantes (Raguso 2004). Por sua vez, é necessário que os polinizadores possuam um aparato sensorial capaz de captar, e órgãos nervosos capazes de processar e armazenar os sinais produzidos pelas flores (Brito, Telles & Lunau 2014). Características como a cor e a temperatura das flores podem auxiliar seu reconhecimento pelas abelhas visitantes (von Frisch 1967; Norgate et al. 2010), enquanto seu tamanho pode fornecer pistas aos polinizadores sobre os recursos disponíveis (Schemske & Bradshaw 1999, Handelman & Kohn 2014).

Adaptações que reduzem a frequência de cruzamento entre diferentes espécies vizinhas são de interesse especial, uma vez que isso pode contribuir para a origem de novas espécies (Schemske & Bradshaw 1999), o que justifica o investimento da planta em traços que atuem na aprendizagem do polinizador, aumentando a transferência coespecífica de pólen (Chittka, Thomson & Waser 1999).

As abelhas são, em geral, mais bem adaptadas para visitas florais do que qualquer outro grupo comparável (Faegri & Van der Pijl 1979; Michener 2007), e

provavelmente, a atividade mais importante das abelhas é a polinização da vegetação natural (Michener 2007), que resulta em frutos, sementes e novas gerações de plantas.

O objetivo do presente trabalho foi testar a hipótese de que os traços florais de *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene (Fabaceae) influenciam na atração das abelhas da restinga.

Material e métodos

Os traços florais número de flores, temperatura e umidade intraflorais, tamanho e ângulo da corola, e refletância das flores, foram analisados em cinco manchas (Covre & Guerra 2016) de *C. rotundifolia* (Manchas 1 e 4 S20°36'15.4" W040°25'28.3", mancha 2 S20°36'15.5" W040°25'28.2", mancha 3 S20°36'15.5" W040°25'28.0", e mancha 5 S20°36'15.3" W040°25'28.8") , no Parque Estadual Paulo César Vinha (PEPCV), ES.

A coleta das flores (refletância), da temperatura e da umidade intraflorais, do número de flores, do tamanho da corola e de seu ângulo ocorreram de 6:00h às 13:00h, durante a floração, quinzenalmente ou semanalmente, por 30 minutos/hora amostrada, e se encontram descritos detalhadamente em Carvalho et al. (2019). Os 30 minutos restantes de cada hora amostrada foram destinados ao estudo das abelhas, conforme será detalhado no tópico a seguir.

Para projetar os espectros de refletância das flores de *C. rotundifolia* em um hexágono de cor (Chittka 1992) foram utilizadas medições das folhas de *C. rotundifolia* para o plano de fundo, uma iluminação padrão de luz do dia (D65, Wyszecki & Stiles 1982), e as funções de sensibilidade espectral dos fotorreceptores para a espécie *Bombus terrestris* (Linnaeus 1758).

As abelhas e Chamaecrista rotundifolia

Para verificar a frequência de visitas das abelhas a *C. rotundifolia* foi proposta uma metodologia, baseada em Mendes (2014), na qual, dos 30 minutos/hora que eram destinados ao estudo das abelhas, 10 minutos eram utilizados para observação e registro de campo sobre os visitantes, 10 minutos eram usados para a coleta das abelhas visitantes, cinco minutos eram usados para os registros fotográficos, e cinco minutos para a organização do material.

As abelhas visitantes foram coletadas seguindo a técnica de coleta direta (Guerra & Orth 2004) com frasco contendo acetato de etila (Silveira, Melo & Almeida 2002), e identificadas por meio de literatura (Silveira, Melo & Almeida 2002). A confirmação dos espécimes identificados e a identificação dos demais até o menor nível taxonômico possível foi realizada pelo Professor Doutor Rodrigo Barbosa Gonçalves, da Universidade Federal do Paraná. Os espécimes foram montados, seguindo a metodologia de Silveira, Melo & Almeida (2002), e serão incorporados ao acervo da Coleção Entomológica da Universidade Federal do Espírito Santo.

Análises estatísticas

Todas as análises estatísticas foram feitas no software gratuito R (R Core Team 2017). O *locus* de cor para cada região ou estrutura mensurada na espectrofotometria foi calculado usando o hexágono de cor (Chittka 1992). Para analisar se as abelhas podem discriminar as cores das estruturas ou regiões da flor de *C. rotundifolia*, calculou-se a média da Distância Euclidiana entre os *loci* das cores aferidas por Carvalho et al. (2019), assumindo-se valores superiores a 0.05 unidades do hexágono (Chittka 1992) como distinguíveis pelas abelhas.

O coeficiente de correlação de Pearson (r) foi aplicado para testar associação entre a hora do dia e a quantidade de visitas por hora.

Foi realizada a análise de componentes principais (PCA) (Hotelling 1933) de correlação para a identificar, dentre as variáveis tamanho e ângulo da corola, temperatura e umidade intraflorais, número de flores e frequência de visita das espécies de abelhas, quais eram mais representativas e para analisar as correlações entre as mesmas.

Resultados

Os dados dos traços florais (número de flores, tamanho e ângulo da corola, temperatura e umidade intraflorais, refletância) de *C. rotundifolia* foram extraídos de Carvalho et al. (2019).

As abelhas e Chamaecrista rotundifolia

As flores de *C. rotundifolia* foram visitadas por oito espécies de abelhas, que realizaram 118 visitas (108 horas de esforço amostral) (Tabela A). As visitas ocorreram de 06:00h às 10:00h, com picos de atividade entre 06:00h e 08:00h ($n = 87$), e redução na frequência de visitas das abelhas com o passar das horas ($r = -1$) (Figura 1). As principais espécies visitantes foram *Pseudaugochlora graminea* (Fabricius, 1804) (53.39%), *Centris* sp1 (28.81%) e *Xylocopa (Neoxylocopa) ordinaria* Smith, 1874 (10.17%).

Tabela A – Abelhas visitantes de *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene (Fabaceae) por hora do dia no Parque Estadual Paulo Cesar Vinha do período de outubro de 2017 a maio de 2018, e suas respectivas frequências relativas de visitação (FR).

Família	Subfamília	Espécie	FR (%)
Apidae	Xylocopinae	<i>Xylocopa (Neoxylocopa) ordinaria</i>	10.17
	Apinae	<i>Centris</i> sp1	28.81
	Apinae	<i>Euglossa</i> sp1	3.39
	Halictinae	<i>Pseudaugochlora graminea</i>	53.39
	Halictinae	<i>Augochloropsis</i> sp1	1.69
	Halictinae	<i>Pseudaugochlora flammula</i>	0.85
	Halictinae	<i>Pereirapis semiaurata</i>	0.85
	Colletinae	<i>Ptiloglossa</i> sp1	0.85

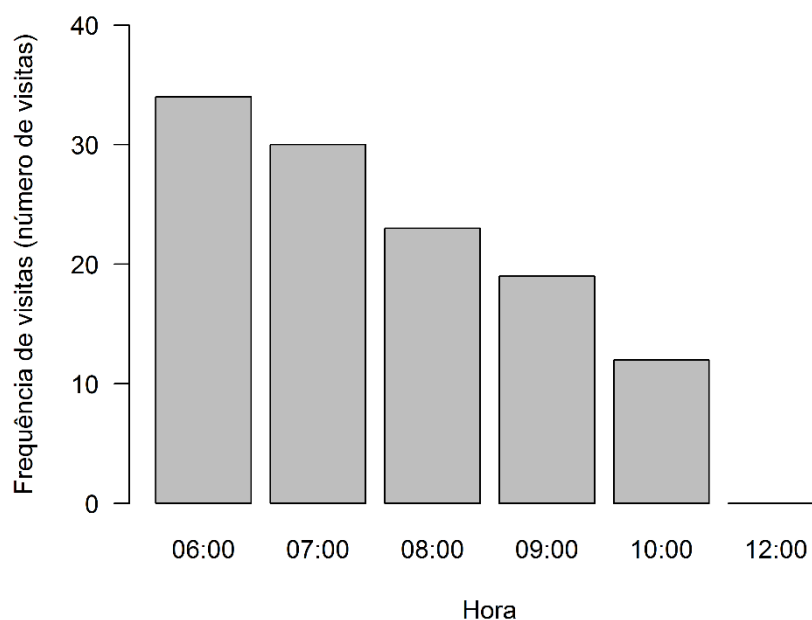


Figura 1 – Total de frequência de visitas realizadas pelas espécies de abelhas às flores de *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene (Fabaceae) por hora do dia. Parque Estadual Paulo César Vinha, Outubro/2017-Maio/2018.

A análise do PCA mostrou que o primeiro componente (PC1) e o segundo (PC2) (Figura 2) explicam juntos 71.55% da variância dos dados. As variáveis mais importantes para o primeiro componente são temperatura e umidade intraflorais e o tamanho da corola. Para o segundo componente, a variável mais importante é o ângulo da corola. A umidade das flores não afetou a frequência de visitação ($r = -0.06$), entretanto, a temperatura intrafloral foi um fator importante ($r = 0.2$).

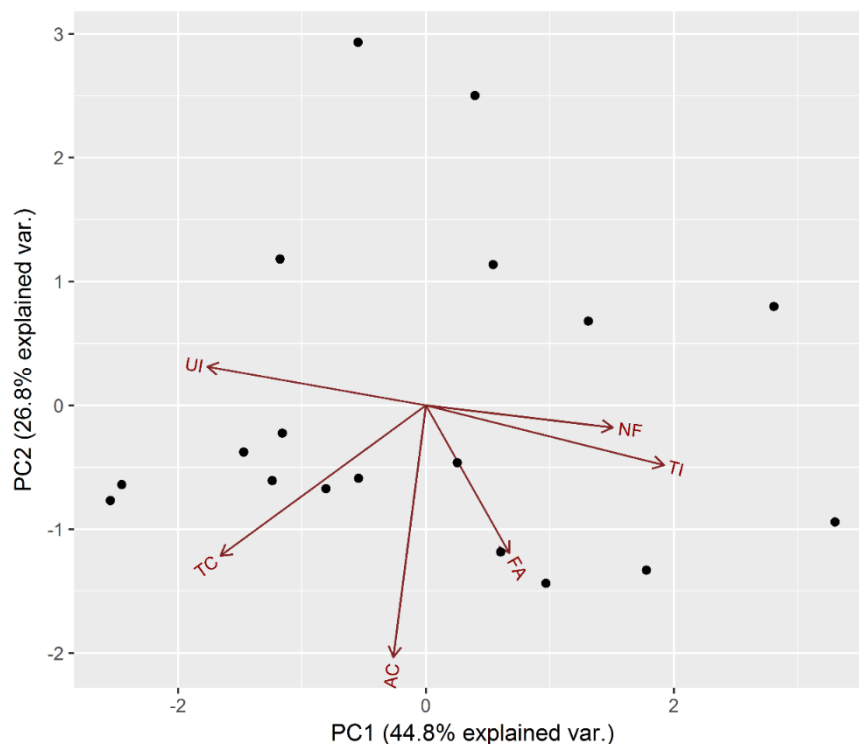


Figura 2 – Primeiro Componente (PC1) e Segundo Componente (PC2) e os vetores das variáveis tamanho da corola (TC), ângulo da corola (AC), número de flores (NF), temperatura intrafloral (TI), umidade intrafloral (UI) e frequência de visitação das abelhas (FA) em flores de *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene (Fabaceae), resultantes da Análise de Componentes Principais (PCA). Parque Estadual Paulo César Vinha, Outubro/2017-Maio/2018.

De acordo com a Distância Euclidiana calculada entre os *loci* das cores aferidas em *C. rotundifolia* (Figura 3), as abelhas não são capazes de discriminar a cor do ápice da pétala da cor da base da pétala (0.02 unidades do hexágono), mas são capazes de discriminar a cor da pétala (base e ápice) da cor das anteras (0.29 unidades do hexágono).

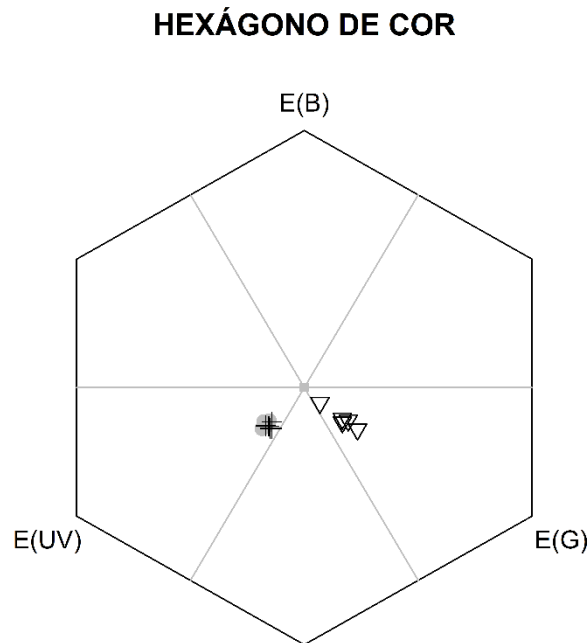


Figura 3 – *Loci* das cores da antera (∇), da base (+) e o ápice (●) da pétala de *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene (Fabaceae) no hexágono de cor das abelhas.

Discussão

C. rotundifolia foi mais visitada pelas abelhas durante as primeiras horas do dia, principalmente entre 6:00 e 8:00 horas da manhã. Segundo Costa et al. (2013), essa espécie libera a maior parte do pólen nas primeiras visitas, o que explica que 73.7% das visitas foram observadas nas três primeiras horas do dia. Nas primeiras horas do dia foram registradas temperaturas mais baixas no ambiente (Carvalho et al 2019) e mais visitas de abelhas a *C. rotundifolia*, o que corrobora a afirmação que a temperatura do

ambiente também é um fator importante para a atividade das abelhas, uma vez que temperaturas altas podem limitar seu período de atividade no dia (Cooper, Schaffer & Buchmann 1985).

A compensação que *C. rotundifolia* faz entre o tamanho e o número de flores na mancha (Carvalho et al. 2019) permite que a área floral perceptível aos visitantes permaneça constante e, assim, garante que esses detectem suas flores. Um número menor de flores pode ser mais efetivo em promover polinização cruzada em espécies autocompatíveis, entretanto, reduz a função de atração dos visitantes florais, que é alcançada com mais sucesso por exibições florais grandes e vistosas (Wyatt 1982; Grindeland, Sletvold & Ims 2005). O aumento do tamanho das flores em *C. rotundifolia* parece corroborar a afirmação para relações de tamanho floral interespecíficas de Faegri & Van der Pijl (1979) de que flores grandes são, em geral, mais atraentes para os polinizadores, e são associadas a quantidades grandes de pólen em comparação a outras espécies.

As anteras poricidas de *C. rotundifolia* liberam nuvem de pólen quando vibradas pelas abelhas visitantes (Carvalho, observação pessoal). Segundo Buchmann & Hurley (1978), é necessário que as abelhas vibrem as anteras poricidas para extrair o pólen que, geralmente, é liberado em forma de nuvem. Segundo Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger (1988), a ejeção da nuvem de pólen ocorre somente em condições climáticas apropriadas. Segundo a PCA, as abelhas visitam mais as flores de *C. rotundifolia* durante os períodos em que a temperatura intrafloral está mais alta ($r = 0.2$) porque, em temperaturas mais altas a umidade intrafloral está mais baixa ($r = -0.91$) e, assim, provavelmente seria mais fácil extrair o pólen seco, uma vez que as estruturas florais estão menos úmidas.

Considerando a visão tricromática das abelhas, com fotorreceptores para o ultravioleta (UV), azul e verde (Daumer 1956; Autrum & von Zwehl 1964; von Helversen 1972; Peitsch et al. 1992), as anteras de *C. rotundifolia* refletem verde, as bases e ápices das pétalas refletem UV e a folhagem reflete verde (Figura 2). O cálculo da Distância Euclidiana entre os dados de refletância mostrou que as abelhas não percebem a diferença entre a coloração do ápice e da base da pétala, sendo assim, a corola possui uma única coloração para as abelhas. No entanto, as abelhas percebem a diferença entre a coloração da corola e da folhagem, assim como entre a coloração da corola e das anteras. O padrão de refletância observado em *C. rotundifolia* no qual o centro da flor absorve UV e a periferia da flor reflete UV é comum em flores amarelas polinizadas por abelhas (Papiorek et al. 2016), como as de *C. rotundifolia*.

A temperatura das flores em *C. rotundifolia* parece funcionar como um foco de calor que se destaca do ambiente, onde a temperatura é mais amena do que dentro das flores. Isso somado ao padrão de refletância dessa espécie, com flores que absorvem UV no centro e refletem UV na periferia, caracteriza um conjunto de traços florais da espécie que auxilia as abelhas a encontrar suas flores. Considerando que as abelhas utilizam apenas os canais visuais acromáticos durante o voo (Giurfa et al. 1996) e, por esta razão, à longa distância a cor não seria um sinal detectável das flores em um ambiente onde ocorrem outras espécies vegetais, isso sugere que a temperatura seja a informação dominante utilizada pelas abelhas durante o voo para identificar as flores de *C. rotundifolia*. A cor refletida se tornaria a informação dominante para as abelhas após o reconhecimento da temperatura retida pelas flores e de sua aproximação como consequência deste (Giurfa et al. 1996).

C. rotundifolia possui um conjunto de traços florais que funcionam na atração de abelhas, como o padrão de refletância, a compensação entre número de flores e tamanho

floral, e a temperatura intrafloral superior à do ambiente, e traços cuja função é possibilitar a coleta dos grãos de pólen, como a umidade intrafloral e as anteras poricidas (Carvalho et al. 2019).

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. As autoras agradecem ao Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos e ao Parque Estadual Paulo Cesar Vinha por possibilitarem a coleta dos dados, e ao Prof. Dr. Rodrigo Barbosa Gonçalves, da Universidade Federal do Paraná, pela confirmação das abelhas identificadas e pela identificação das demais abelhas.

Referências

- Autrum, H J & von Zwehl, V 1964, 'Die spektrale Empfindlichkeit einzelner Sehzellen des Bienenauges', *Zeitschrift für vergleichende Physiologie*, vol. 48, pp. 357–384.
- Brito, V.; Telles, F.; Lunau, K. Ecologia cognitiva da polinização. In: Rech, A. R.; Agostini, K.; Oliveira, P. E.; Machado, I. C. (Org.). **Biologia da Polinização**. Rio de Janeiro: Editora Projeto Cultural, 2014. p. 417–438.
- Buchmann, S L & Hurley, J P 1978, 'A biophysical model for buzz pollination in Angiosperms', *Journal of Theoretical Biology*, vol. 72, pp. 639–657.
- Carvalho, E. S.; Rodrigues, T.; Guerra, T. M. Como os fatores ambientais afetam os traços florais de *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene (Fabaceae)? 2019. Em fase de preparo.
- Chagas, A P, Peterle, P L, Thomaz, L D, Dutra, V F & Valadares, R T 2014, 'Leguminosae-Caesalpinioideae of the "Parque Estadual Paulo César Vinha", Espírito Santo, Brazil', *Rodriguésia*, vol. 65, no. 1, pp. 99-112.
- Chittka, L 1992, 'The colour hexagon: a chromaticity diagram based on photoreceptor excitations as a generalized representation of colour opponency', *Journal of Comparative Physiology A*, vol. 170, pp. 533–543.
- Chittka, L, Thomson & J D, Waser, N M 1999, 'Flower constancy, insect psychology, and plant evolution', *The Science of Nature*, vol. 86 pp. 361–377.
- Cooper, P D, Schaffer, W M & Buchmann, S L 1985, 'Temperature regulation of honey bees (*Apis mellifera*) foraging in the Sonoran desert', *Journal of Experimental Biology*, vol. 114, no. 1, pp. 1-15.

- Costa, C B N, Costa, J A S, Queiroz, L P & Borba E L 2013, 'Self-compatible sympatric *Chamaecrista* (Leguminosae-Caesalpinioideae) species present different interspecific isolation mechanisms depending on their phylogenetic proximity', *Plant Systematics and Evolution*, vol. 299, no. 2, pp. 699–711.
- Covre, C & Guerra, T M 2016, 'Espécies Melitófilas da restinga do Parque Estadual Paulo César Vinha, Espírito Santo', *Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão*, vol. 38, no. 2, pp. 73–90.
- Daumer, K 1956, 'Reizmetrische Untersuchung des Farbensehens der Bienen', *Zeitschrift für vergleichende Physiologie*, vol. 38, pp. 413–478.
- Faegri, K & Van der Pijl, L 1979, *The principles of pollination ecology*, Pergamon, Oxford.
- Giurfa, M, Vorobyev, M, Kevan, P & Menzel, R 1996, 'Detection of coloured stimuli by honeybees: minimum visual angles and receptor specific contrasts' *Journal of Comparative Physiology A*, vol. 178, no. 5, pp. 699-709.
- Gottsberger, G & Silberbauer-Gottsberger, I 1988, 'Evolution of flower structures and pollination in Neotropical Cassiinae (Caesalpinaceae) species', *Phyton*, vol. 28, pp. 293–320.
- Grindeland, J M, Sletvold, N & Ims, R A 2005, 'Effects of floral display size and plant density on pollinator visitation rate in a natural population of *Digitalis purpurea*', *Functional Ecology*, vol. 19, pp. 383–390.
- Guerra, T M & Orth, A I 2004, 'Direct Sampling Technique of bees on *Vriesea philippocoburgii* (Bromeliaceae. Tillandsioideae) flowers', *Biotemas*, vol. 17, no. 2, pp. 191–196.
- Handelman, C & Kohn, J R 2014, 'Hummingbird color preference within a natural hybrid population of *Mimulus aurantiacus* (Phrymaceae)', *Plant Species Biology*, vol. 29, pp. 65–72.
- Hotelling, H 1933, 'Analysis of a complex of statistical variables into principal components', *Journal of Educational Psychology*, vol. 24, no. 6, pp. 417–441.
- Mendes, G. A. **As abelhas e a floração sequencial em área de restinga**. 2014. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Biologia Animal), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- Michener, C D 2007, *The Bees of the World*, The Johns Hopkins University Press, Baltimore.

- Norgate, M, Boyd-Gerny, S, Simonov, V, Rosa, M G, Heard, T A & Dyer A G 2010, 'Ambient temperature influences Australian native stingless bee (*Trigona carbonaria*) preference for warm nectar', *PLoS One*, vol. 5, pp. e12000.
- Papiorek, S, Junker, R R, Alves-Dos-Santos, I, Melo, G A R, Amaral-Neto, L P, Sazima, M, Wolowski, M, Freitas, L & Lunau, K 2016, 'Bees, birds and yellow flowers: pollinator-dependent convergent evolution of UV patterns', *Plant Biology*, vol. 18, pp. 46–55.
- Peitsch, D, Fietz, A, Hertel, H, Souza, J, Ventura, D & Menzel, R 1992, 'The spectral input systems of hymenopteran insects and their receptor-based colour vision', *Journal of Comparative Physiology A*, vol. 170, no. 1, pp. 23–40.
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>, 2017.
- Raguso, R A 2004, 'Flowers as sensory billboards: progress towards an integrated understanding of floral advertisement', *Current Opinion in Plant Biology*, vol. 7, pp. 434-440.
- Schaefer, H M, Schaefer, V & Levey, D J 2004, 'How plant-animal interactions signal new insights in communication', *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 19, pp. 577-584.
- Schemske, D W & Bradshaw, H D 1999, 'Pollinator preference and the evolution of floral traits in monkeyflowers (*Mimulus*)', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 96, pp. 11910–11915.
- Silveira, F A, Melo, G A R & Almeida, E A B 2002, *Abelhas brasileiras: sistemática e identificação*, Ministério do Meio Ambiente, Belo Horizonte.
- von Frisch, K 1967, *The dance language and orientation of bees*, Harvard University Press, Cambridge.
- von Helversen, O 1972, 'Zur spektralen Unterschiedsempfindlichkeit der Honigbiene', *Journal of Comparative Physiology*, vol. 80, pp. 439–472.
- Wyatt, R 1982, 'Inflorescence Architecture: How Flower Number, Arrangement, and Phenology Affect Pollination and Fruit-Set', *American Journal of Botany*, vol. 69, no. 4, pp. 585–594.
- Wyszecki, G & Stiles, W S 1982, *Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae*, Wiley, New York.